



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**"AVALIAÇÃO DAS PARAMETRIZAÇÕES DE COMPORTAMENTO E
EFEITO DE FOGO DO MODELO BRASILEIRO DO SISTEMA
CLIMÁTICO GLOBAL PARA A FLORESTA AMAZÔNICA E BIOMA
CERRADO"**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Guilherme Cordeiro Skurczenski (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: guilherme.skurczenski@inpe.br

Manoel Ferreira Cardoso (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: manoel.cardoso@inpe.br

Julho de 2011

**"AVALIAÇÃO DAS PARAMETRIZAÇÕES DE COMPORTAMENTO E
EFEITO DE FOGO DO MODELO BRASILEIRO DO SISTEMA
CLIMÁTICO GLOBAL PARA A FLORESTA AMAZÔNICA E BIOMA
CERRADO"**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Guilherme Cordeiro Skurczenski (UNESP, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: guilherme.skurczenski@inpe.br

Manoel Ferreira Cardoso (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: manoel.cardoso@inpe.br

Julho de 2011

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1 - Emissões de Carbono (g/m ²).....	8
Figura 2 - Área queimada (hectares).....	9
Figura 3 - Área queimada (hectares).....	10
Figura 4 - Umidade do solo próximo à superfície.....	12
Figura 5 - Velocidade do Vento próximo à superfície.....	13
Figura 6 - Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Umidade do Solo.....	14
Figura 7 - Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Velocidade do Vento.....	15
Figura 8 - Espalhamento do Fogo de acordo com o Modelo Arora e Boer (2005).....	16
Figura 9 - Aproximação realizada para tornar a função $h(\beta_{root})$ contínua	17
Figura 10 - Media da área queimada calculada seguindo o modelo matemático de Arora e Boer (2005)	19
Figura 11 - Mapas provenientes da subtração da Área Queimada Calculada – Área Queimada Observada.....	20
Figura 12 - Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Área Queimada Calculada.....	21

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 DETALHAMENTO DOS PROGRESSOS REALIZADOS	6
2.1 Levantamento de fontes de informação e construção de bancos de dados	6
2.1.1 Dados sobre área queimada e emissões atmosféricas causadas pelo fogo na vegetação. 7	
2.1.2 Dados sobre umidade do solo e velocidade do vento próximo a superfície.....	11
2.2 Modelo matemático proposto por Arora e Boer.....	16
3 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	22
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1- INTRODUÇÃO

O projeto inicial teve como objetivos principais a criação de um banco de dados com valores de variáveis importantes para testar as equações de comportamento e efeitos do fogo (como por exemplo área queimada em função do tempo) para modelos de dinâmica de vegetação apropriados para o desenvolvimento do Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global. A metodologia do projeto prevê também o uso da descrição da dinâmica do fogo de acordo com o trabalho “Fire as an interactive component of dynamic vegetation models”, de Arora e Boer (2005). Para as análises realizadas, foram utilizados principalmente os dados do conjunto Global Fire Emissions Database (GFED), com informações mensais sobre área queimada na resolução espacial de 0,5° de latitude e longitude. O primeiro passo foi realizar a conversão dos dados do GFED para o formato binário, adequado ao software Grid Analysis and Display System (GrADS), disponível para a análise dos dados. Para isso foi desenvolvido um programa em linguagem C para a conversão desses dados e assim foram gerados os mapas com observações de área queimada e emissões de carbono. Após os mapas gerados, os dados foram analisados com base na metodologia para modelagem computacional do fogo na vegetação descrita em Arora e Boer (2005). Neste método, a área queimada de uma determinada região é estimada de acordo principalmente com variáveis de velocidade do vento e umidade do solo. Para isso foram então selecionados dados provenientes do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), dos EUA. Estes dados foram então alinhados as informações sobre emissões e área queimada, e agregados em climatologias mensais para sintetizar os cálculos e análises. Os valores obtidos com a aplicação das equações descritas em Arora e Boer (2005) são em geral consistentes com outros estudos que descrevem a dinâmica do fogo na região de estudo, mostrando maior área queimada em regiões com condições de maior flamabilidade. De forma geral, os principais objetivos do projeto foram cumpridos incluindo o desenvolvimento de um banco de dados para auxiliar no desenvolvimento de modelos computacionais da dinâmica do fogo para serem usados em conjunto com outros modelos de ecossistemas terrestres previstos no Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global para terem funcionamento global e ênfase nos ecossistemas brasileiros, e uma implementação simples do método descrito em Arora e Boer (2005).

2- DETALHAMENTO DOS PROGRESSOS REALIZADOS

2.1 – Levantamento de fontes de informação e construção de bancos de dados

No início do trabalho foram consultados alguns artigos como literatura inicial para servirem como uma introdução aos tópicos do projeto e para auxiliar no levantamento de fontes de informação sobre a dinâmica do fogo. Os artigos são: “Projecting future fire activity in Amazonia” Cardoso et al. (2003), “Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics” Cardoso et al. (2008), e “Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon” Cardoso et al. (2009).

Para favorecer a compatibilidade entre os dados recém obtidos e outros já em uso no Grupo de Interação Biosfera-Atmosfera do CST/INPE, os dados selecionados foram convertidos para o formato binário, usado pelo software Grid Display and Analysis System (GrADS). Desenvolveu-se então um código em linguagem C para fazer a conversão dos dados de ASCII para binário (.dat). Como são muitos arquivos não seria viável fazer a conversão manualmente. Portanto, foi gerado também um script para interagir com o sistema operacional Linux automatizando este processo. Abaixo está o código em linguagem C para a conversão:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
main()
{ FILE *arquivo = fopen("/home2/cordeiro/GFED3.1_C/GFED3.1_$.a${m}_C.txt", "r");
  FILE *arqnovo = fopen("/home2/cordeiro/Convertidos/binGFED3.1_$.a${m}_C.dat", "wb");
  float matriz[360][720]= {0};
  int i, j;
  if(arquivo!= NULL)
  { for(i=0;i<360;i++)
    { for(j=0;j<720;j++)
      { fscanf(arquivo, "%13e", &matriz[i][j]);
        fwrite(&matriz[i][j], sizeof(float), 1, arqnovo);
      } }
    for(i=0;i<360;i++)
    { for(j=0;j<720;j++)
      { if (matriz[i][j] != 0.0)
        printf("%13e ", matriz[i][j]); }
      printf("\n"); }
    fclose(arquivo); // libera o ponteiro para o arquivo
    fclose(arqnovo); }
  else
    printf("Nao foi possivel abrir o arquivo.");
  printf("\n\n");
  return 0; }
```

Com isso, alguns bancos de dados importantes para estudos sobre a dinâmica do fogo na vegetação estão agora disponíveis para uso dentro do Grupo de Interação Biosfera-Atmosfera do CST/INPE, conforme apresentados abaixo.

2.1.1 – Dados sobre área queimada e emissões atmosféricas causadas pelo fogo na vegetação

No início do trabalho foi identificado um banco de dados sobre área queimada para auxiliar no desenvolvimento desse projeto. Este banco de dados é denominado GFED (Global Fire Emissions Database), criado pelo pesquisador Guido van der Werf da Vrije University, em Amsterdã. Este banco de dados visa fazer um levantamento da área queimada e as emissões de fogo de Janeiro de 1997 até Dezembro de 2009. Os dados estão no formato ASCII e podem ser copiados do próprio site (<http://www.falw.vu/~gwerf/GFED/index.html>). Dentre os dados, selecionamos principalmente a área queimada e emissões de carbono. A resolução espacial dos dados é de 0.5° de latitude por 0.5° de longitude, com resolução temporal mensal, com cobertura global de 1997 a 2009 (van der Werf et al., 2010). Para a análise inicial dos dados com o software GrADS, foram elaborados alguns mapas e gráficos. Alguns exemplos destes mapas são exibidos abaixo na Fig. 1 para emissões no ano 2000 e na Fig. 2 para área queimada no ano 2000. Para síntese das informações sobre área queimada, foram geradas também médias climatológicas trimestrais usando o software GrADS, como ilustra a Figura 3.

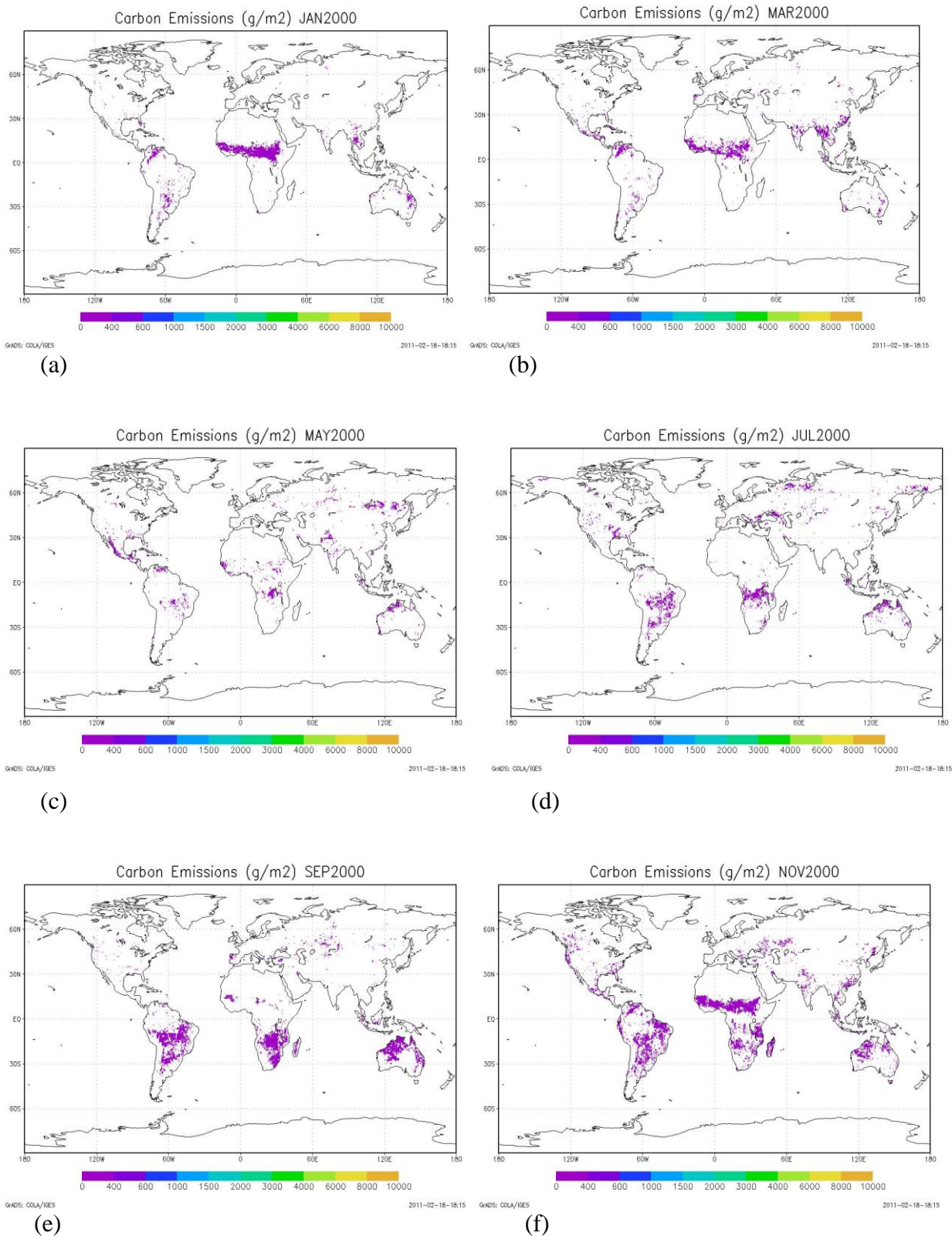
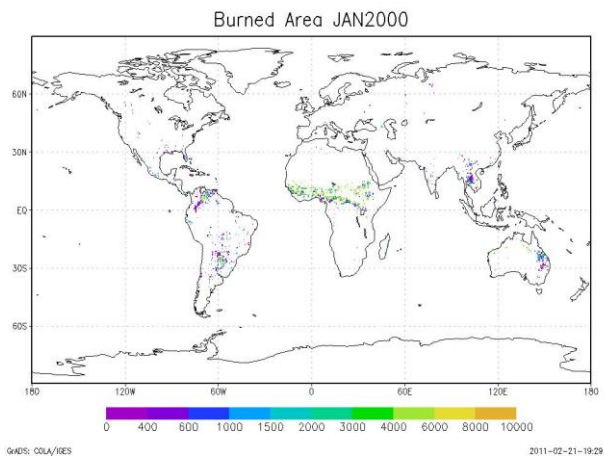
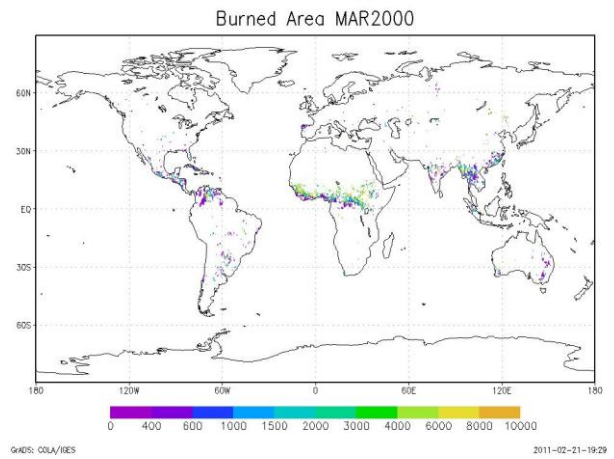


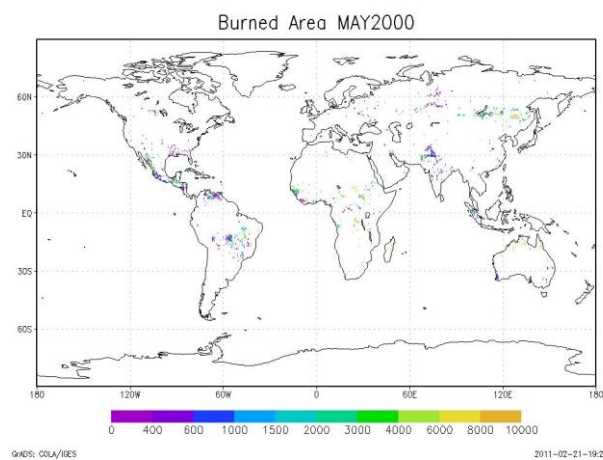
Figura 1 – Emissões de Carbono (g/m²): Dados referentes ao mês de Janeiro 2000 (a), Março 2000 (b), Maio 2000 (c), Julho 2000 (d), Setembro 2000 (e), Novembro 2000 (f).



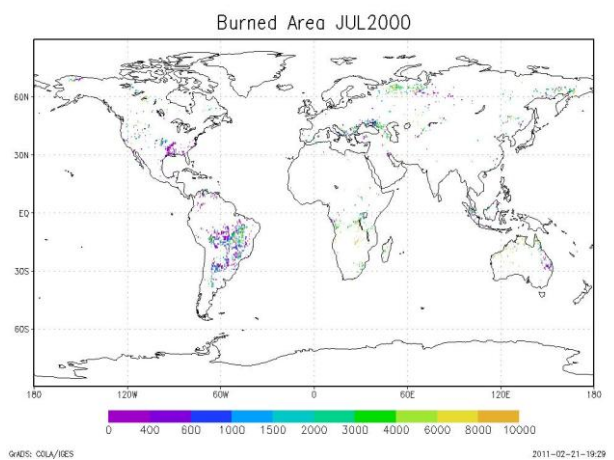
(a)



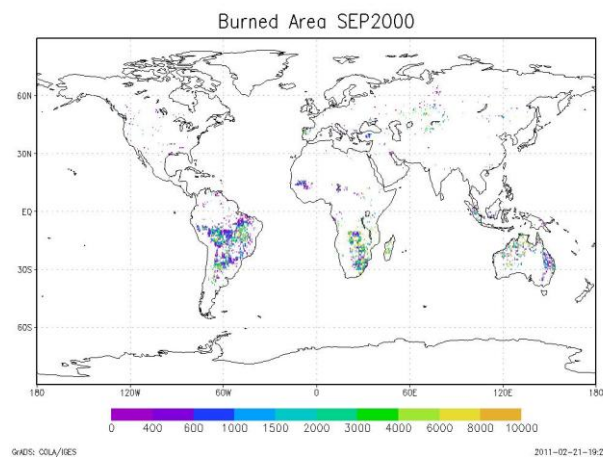
(b)



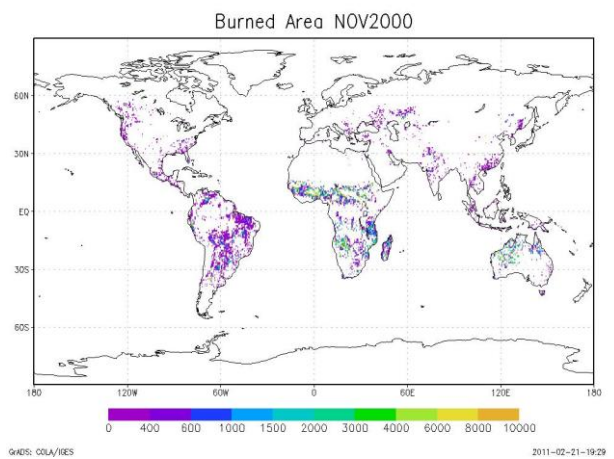
(c)



(d)

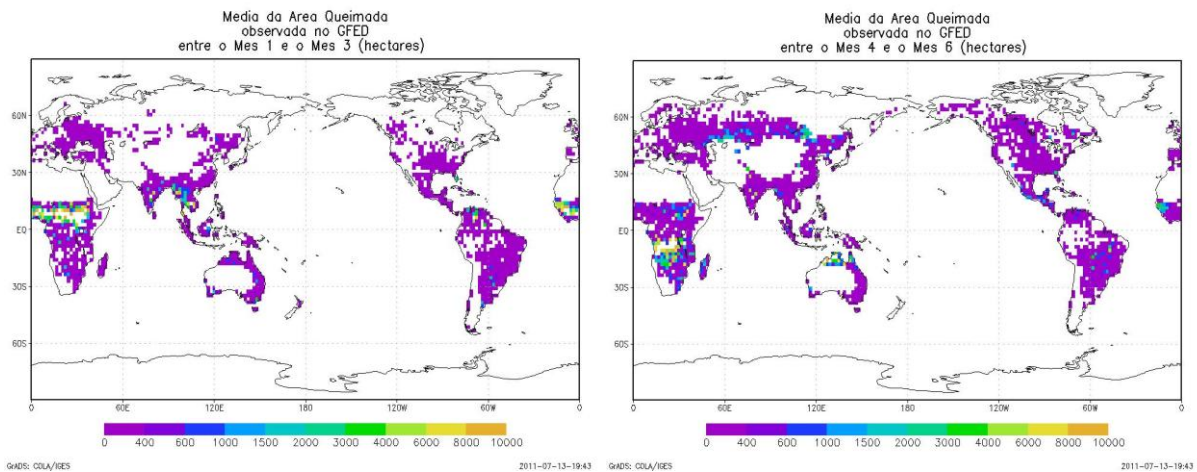


(e)



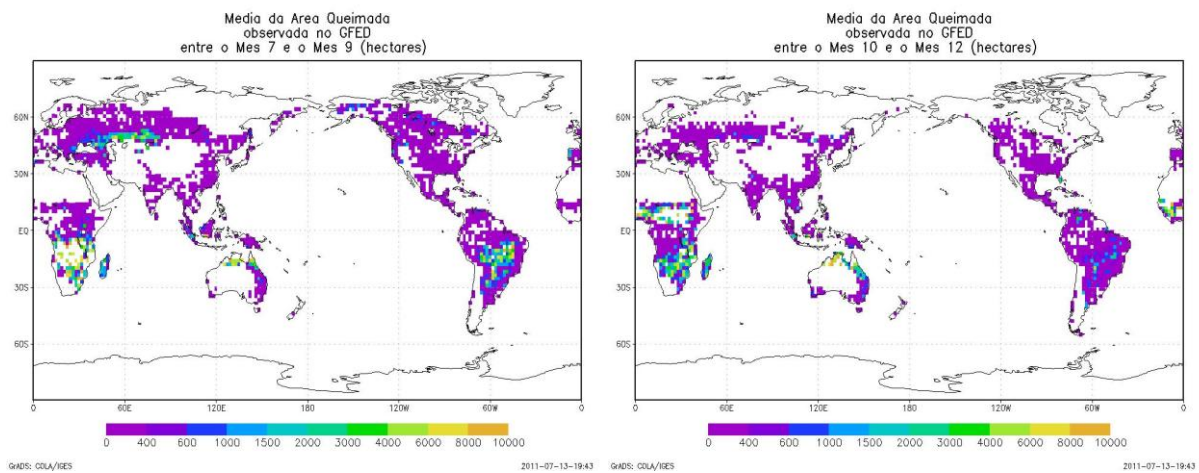
(f)

Figura 2 - Área queimada: Dados referentes ao mês de Janeiro 2000 (a), Março 2000 (b), Maio 2000 (c), Julho 2000 (d), Setembro 2000 (e), Novembro 2000 (f).



(a)

(b)



(c)

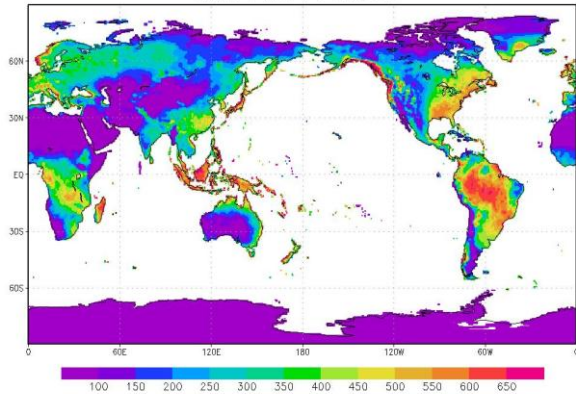
(d)

Figura 3: Área queimada – Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro – Março) (a), Segundo Trimestre (Abril – Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho – Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro – Dezembro) (d).

2.1.2 – Dados sobre umidade do solo e velocidade do vento próximo a superfície

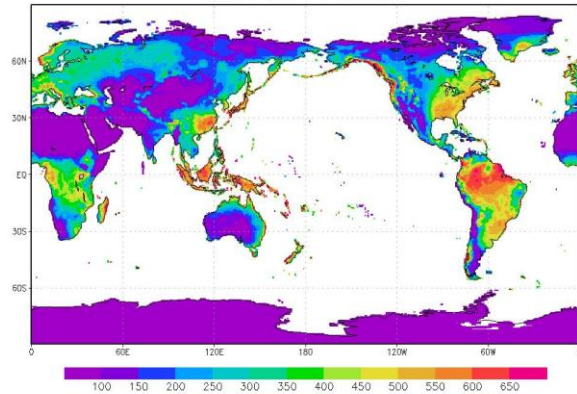
Foram também selecionados e incorporados dados de velocidade do vento e umidade do solo, ambos provenientes do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), dos EUA. Os dados de velocidade do vento estão na resolução de 2,5 de latitude e longitude, assim como os de umidade. Todos esses dados já estavam no formato apropriado para análise com o GrADS, e portanto não precisaram de conversão. Para resumo dos dados e cálculos, foram geradas médias climatológica trimestral destes usando também o software GrADS, como ilustram a Figura 4 e 5. Por meio do GrADS é possível também desenhar gráficos comparativos entre os mapas, e assim, visualizar melhor as relações entre as variáveis. Foram feitas uma série de gráficos comparativos entre área queimada observada pelo GFED e umidade do solo, e velocidade do vento. Todos eles nas climatologias trimestrais, como mostrado nas Figuras 6 e 7.

Climatologia da Umidade do Solo próximo a superfície
entre o Mes 1 e o Mes 3



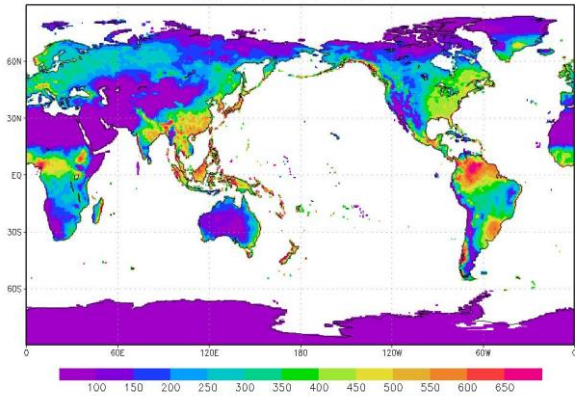
(a)

Climatologia da Umidade do Solo próximo a superfície
entre o Mes 4 e o Mes 6



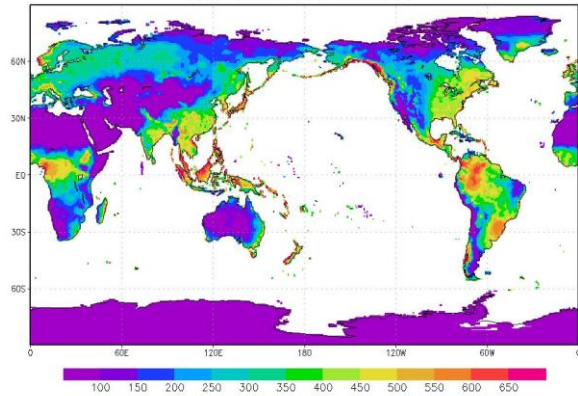
(b)

Climatologia da Umidade do Solo próximo a superfície
entre o Mes 7 e o Mes 9



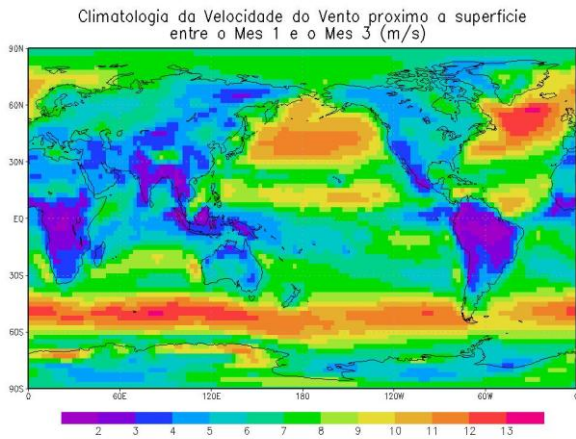
(c)

Climatologia da Umidade do Solo próximo a superfície
entre o Mes 10 e o Mes 12

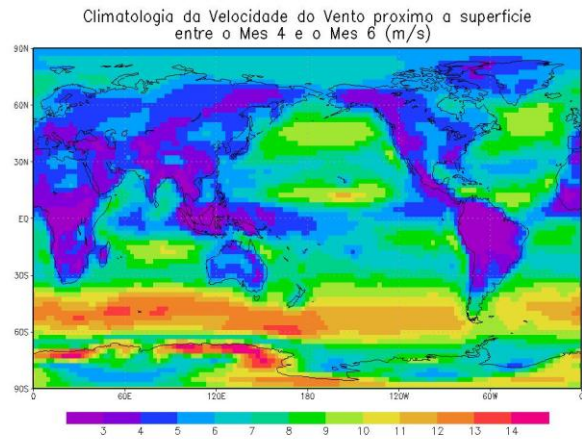


(d)

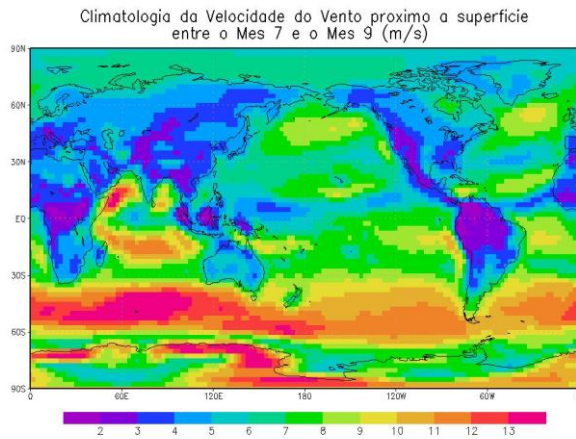
Figura 4: Umidade do solo próximo à superfície - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).



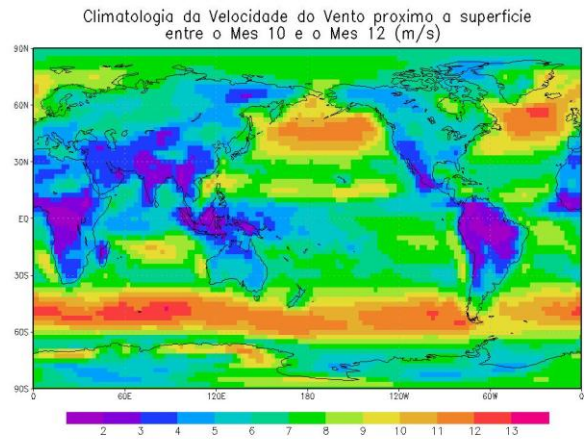
(a)



(b)

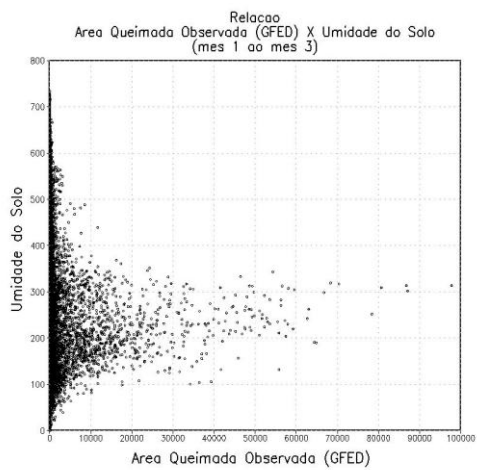


(c)

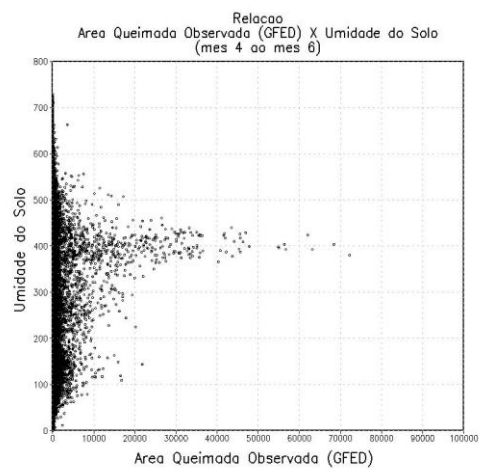


(d)

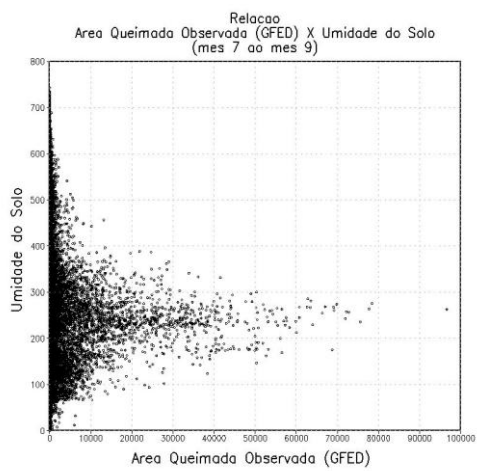
Figura 5: Velocidade do Vento próximo à superfície - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).



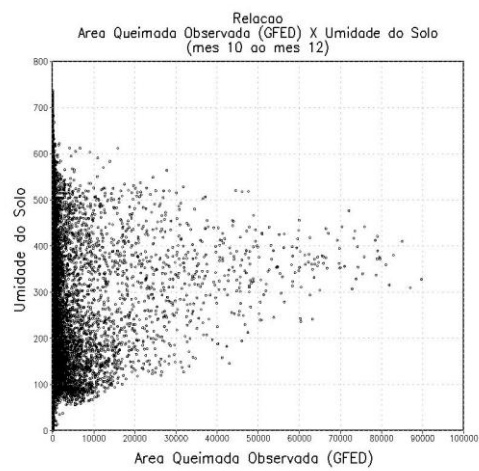
(a)



(b)

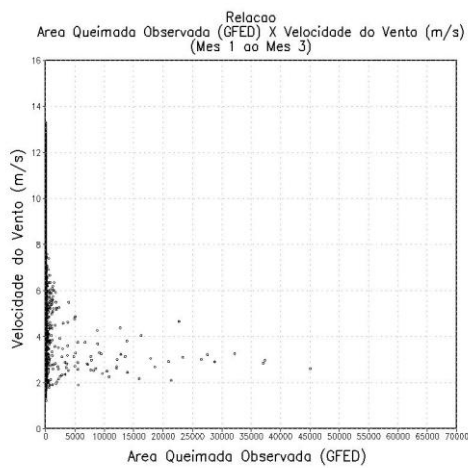


(c)



(d)

Figura 6: Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Umidade do Solo - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).

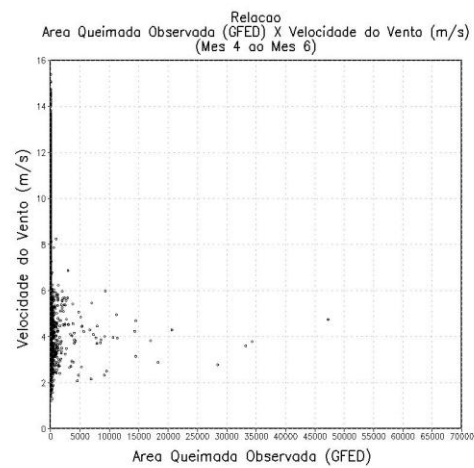


GHRS: COLA/RES

2011-07-13-17:18

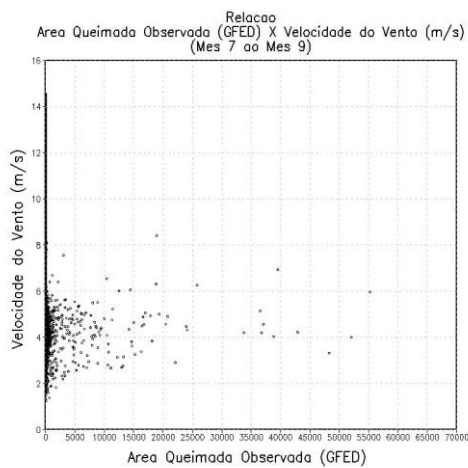
GHRS: COLA/RES

(a)



2011-07-13-17:18

(b)

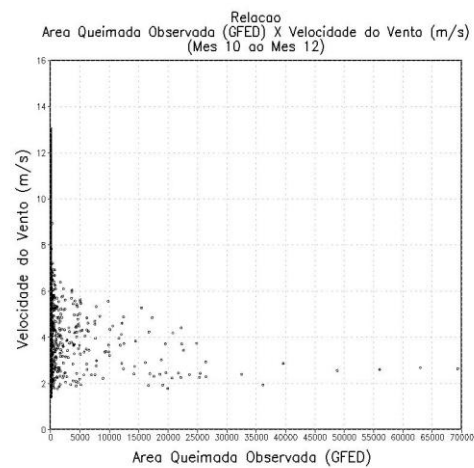


GHRS: COLA/RES

2011-07-13-17:18

GHRS: COLA/RES

(c)



2011-07-13-17:18

(d)

Figura 7: Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Velocidade do Vento - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).

2.2 – Modelo matemático proposto por Arora e Boer

Para realizar as parametrizações propostas da dinâmica do fogo na vegetação foi utilizado como base o artigo "Fire as an interactive component of dynamic vegetation models" de Arora e Boer (2005). Nele estão descritas equações para se estimar matematicamente a área de vegetação queimada em uma determinada região, seguindo alguns parâmetros que serão listados nos tópicos seguintes.

De acordo com o artigo, o fogo tem um ponto de ignição e seu espalhamento segue a forma de uma elipse (Fig. 8), e a velocidade do vento e a umidade do solo são as diretrizes responsáveis em mensurar os valores desse espalhamento.

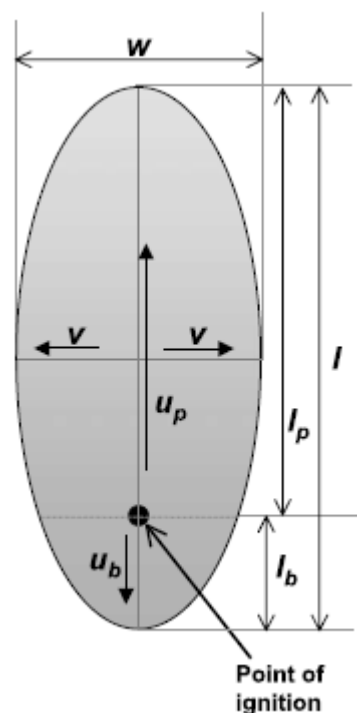


Figura 8 - Espalhamento do Fogo de acordo com o Modelo Arora e Boer (2005)

O Modelo segue as seguintes equações:

$$a(t) = \pi \frac{l w}{2 2} = \pi \frac{l^2}{4L_B} = \frac{\pi (u_p + u_b)^2 t^2}{4L_B} = \frac{0.36\pi u_p^2 t^2}{L_B} = a_* t^2 \quad (1)$$

onde 'a' é a área queimada em função do tempo.

Agora serão detalhadas as variáveis que levarão à estimativa que está sendo estudada.

A taxa de espalhamento a favor do vento é dada em metros por segundo (m/s) pela equação:

$$u_p = u_{\max} g(W_s)h(\beta_{root}), \quad (2)$$

Onde u_{\max} é a taxa máxima de espalhamento, adotada 0,13 m/s, e $g(W_s)$ e $h(\beta_{root})$ são funções que variam entre zero e um, e que incorporam a dependência de u_p para a velocidade do vento e umidade do solo. O parâmetro $h(\beta_{root})$ é dado por:

$$h(\beta_{root}) = (1 - \beta_m)^2, \quad \beta_m = \begin{cases} \beta_{root}/\beta_e & \text{if } \beta_{root} \leq \beta_e \\ 1 & \text{if } \beta_{root} > \beta_e \end{cases}, \quad (3)$$

Como essa não é uma função contínua, o que dificulta sua implementação, foi feita uma aproximação para torná-la contínua, e assim possibilitar os cálculos no GrADS de forma simples. A aproximação seguiu o gráfico da Figura 9 e gerou a equação

$$h(\beta_{root}) = \exp(-10*(sm/smmax)) \quad (4),$$

onde sm é o dado de umidade relativa do solo e $smmax$ é um valor adotado para uma umidade máxima teórica do solo adotada como 750mm que corresponde ao máximo observado nos dados.

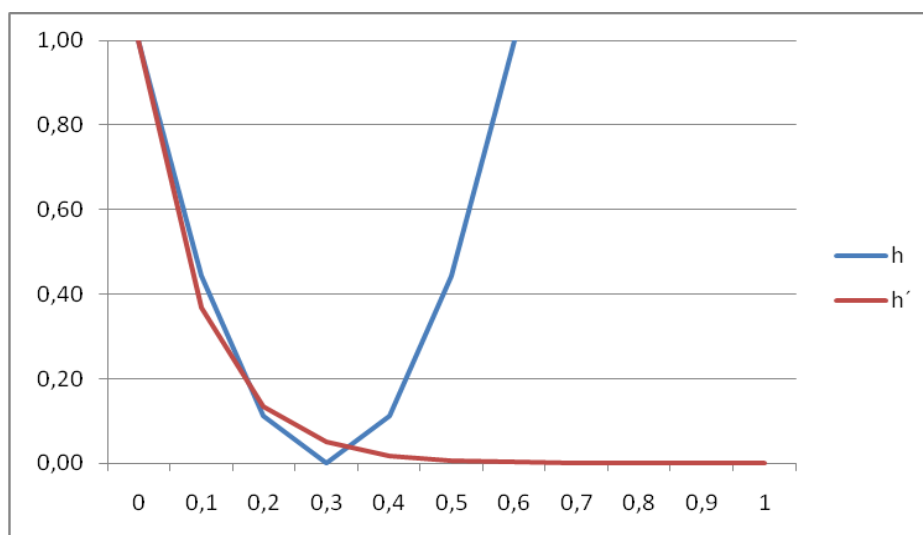


Figura 9 - Aproximação realizada para tornar a função $h(\beta_{root})$ contínua

Há uma incerteza na Equação 4, pois neste caso ela assume que o planeta é coberto por apenas um tipo de solo.

A dependência da velocidade do vento é dada por:

$$g(W_s) = 1.0 - (1.0 - g_0) \exp\left(-\frac{W_s^2}{2500}\right), \quad (5)$$

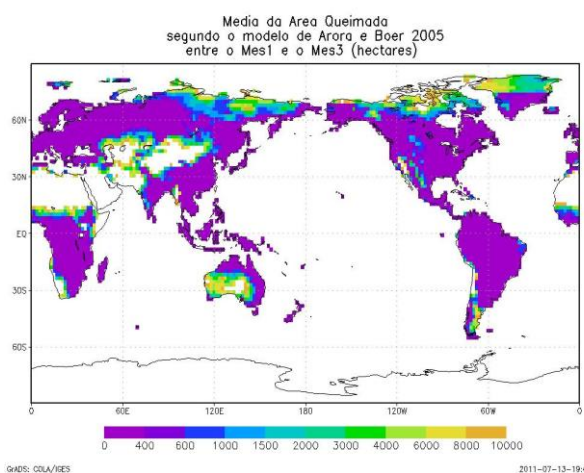
Onde g_0 é o valor de $g(W_s)$ quando a velocidade do vento W_s é zero.

A forma elíptica do fogo é definida usando o raio de comprimento-largura L_B , que é também função da velocidade do vento.

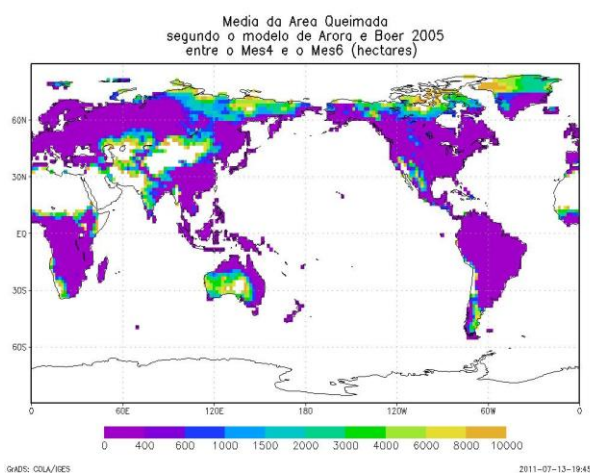
$$L_B = 1 + 10.0(1 - \exp(-0.017W_s)) \quad (6)$$

Estas relações foram então aplicadas apenas às superfícies vegetadas, com base em mapas de biomas naturais descritos em Oyama e Nobre (2004). Com esses dados pode-se excluir dos cálculos biomas como desertos e geleiras, por exemplo, regiões cuja ocorrência de fogo é bastante baixa por não possuir biomassa significativa para queimar. Com isso, foram geradas as estimativas de área queimada seguindo o modelo matemático de Arora e Bôer (2005). Para fins de comparação e análises mais simples, também foram feitas climatologias trimestrais desses mapas, que estão na mesma resolução espacial do mapa de biomas (~1.8 graus em latitude e longitude), mostradas na Figura 10.

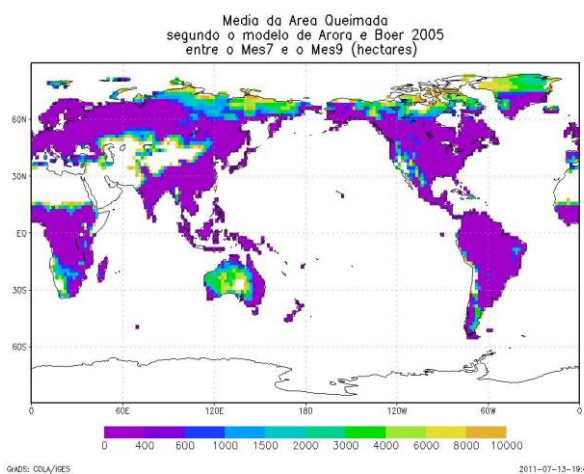
Para fins de comparação, foram gerados também mapas provenientes da subtração da área queimada calculada pelo modelo matemático e a área queimada observada do banco de dados GFED (Figura 11), e gráficos confrontando diretamente estes valores (Figura 12). De forma geral, as relações entre valores calculados e observados foram satisfatórias tendo em vista a simplicidade das equações utilizadas, e que a maioria dos pontos do mapa se aproximou do zero, e reproduzindo de forma geral os padrões espaciais. Os pontos mais distantes do zero (super- e sub-estimativas) se justificam pelas incertezas que devem ser consideradas, como diferentes tipos de solo e ausência da descrição sobre fontes de ignição. Vale ressaltar também que os mapas não possuíam a mesma resolução espacial no GrADS, sendo necessárias interpolações para emparelhá-las.



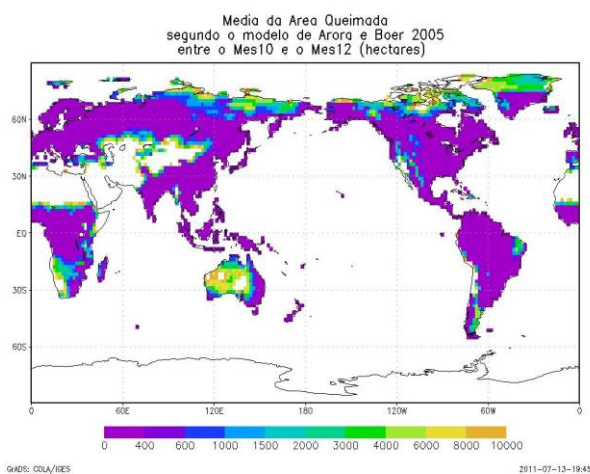
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 10: Media da área queimada calculada seguindo o modelo matemático de Arora e Boer (2005) - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Maro) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).

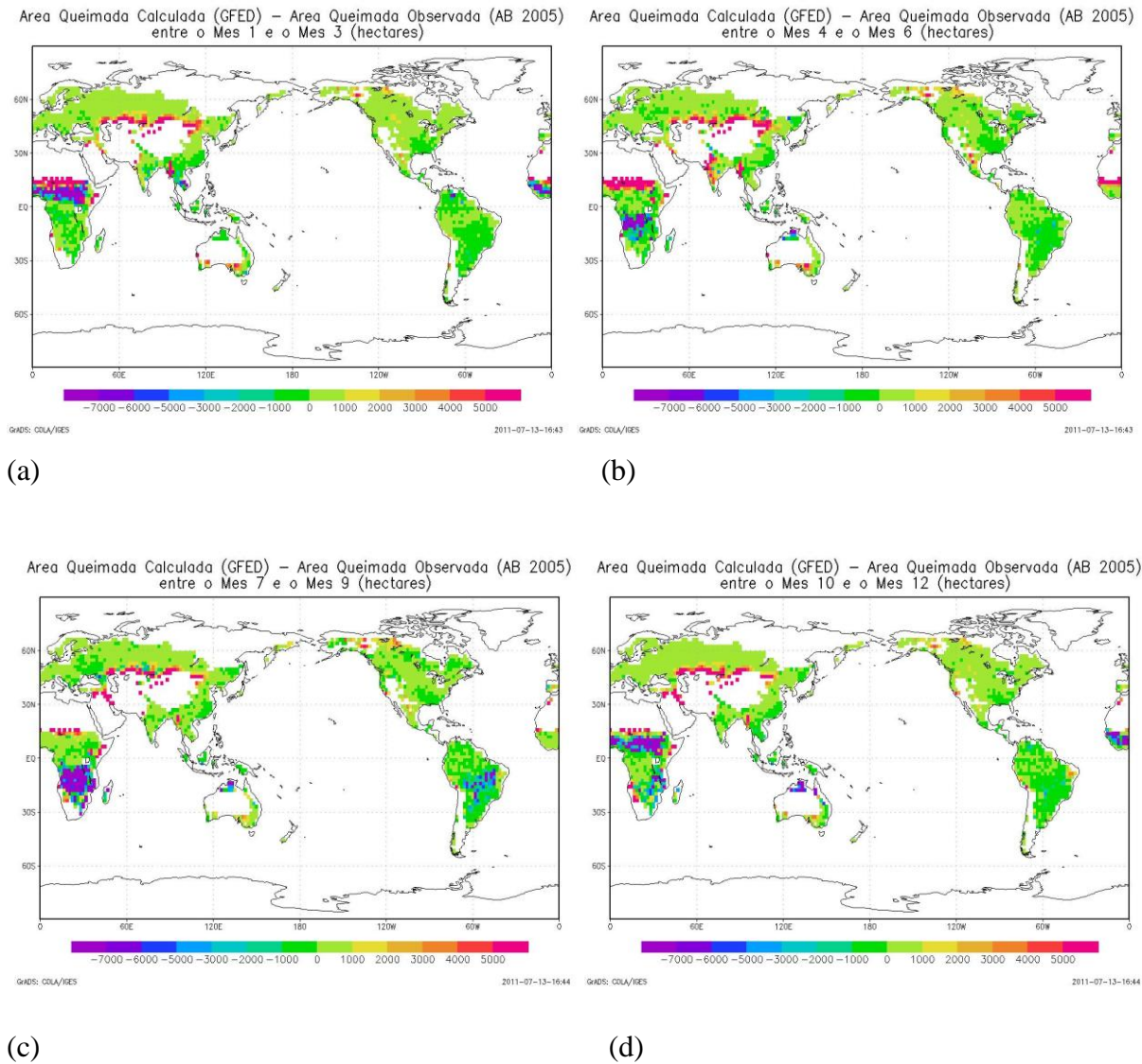
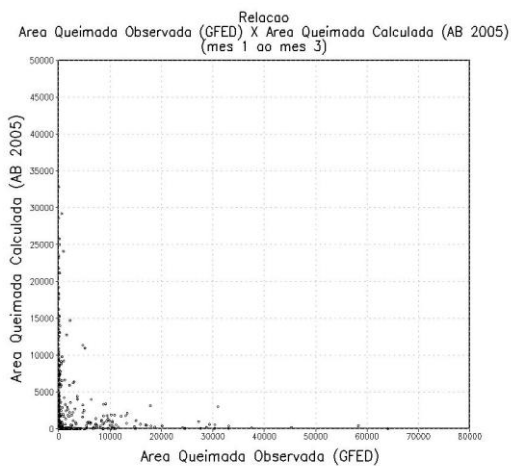
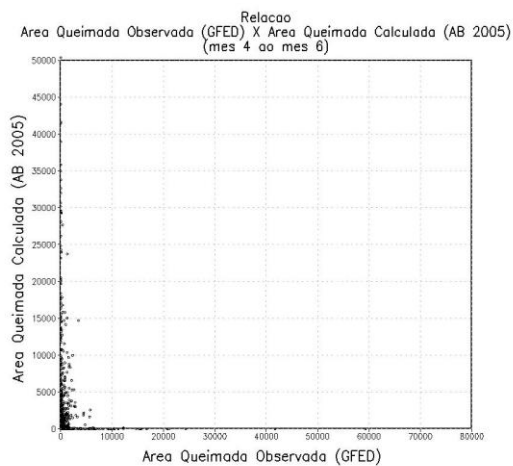


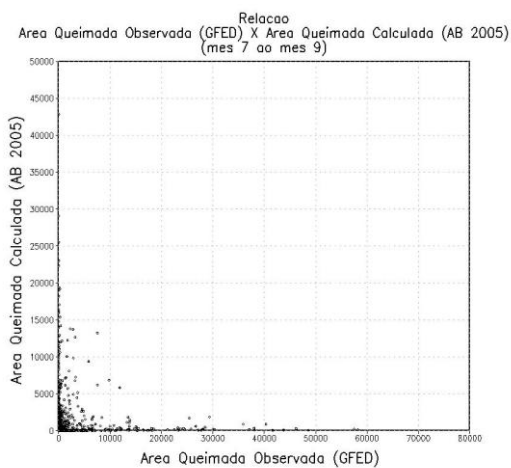
Figura 11: Mapas provenientes da subtração da Área Queimada Calculada – Área Queimada Observada - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).



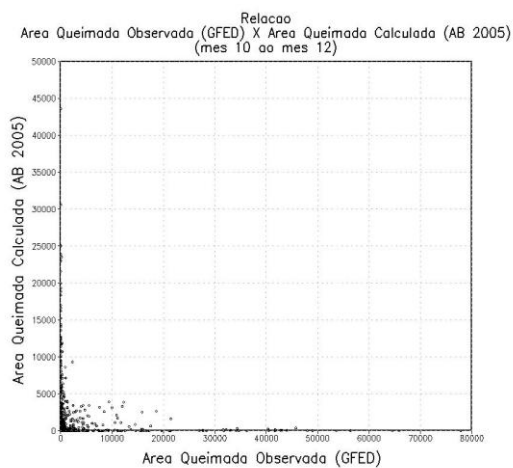
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12: Gráficos provenientes da Relação Área Queimada Observada (GFED) x Área Queimada Calculada segundo o modelo matemático de Arora e Boer (2005) - Dados referentes a media da climatologia do Primeiro Trimestre (Janeiro - Março) (a), Segundo Trimestre (Abril - Junho) (b), Terceiro Trimestre (Julho - Setembro) (c) e Quarto Trimestre (Outubro - Dezembro) (d).

3 - DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Primeiramente, ressaltamos que as atividades deste projeto levaram ao acesso de dados e análises que formam bases para outros estudos de modelagem da dinâmica do fogo na vegetação. Apesar de simples, a implementação do método para cálculo de área queimada levou a resultados que reproduzem de forma geral os padrões espaciais e temporais verificados nos dados de referência. Através das análises simples e gráficos podemos chegar a algumas conclusões entre a relação entre área queimada e os outros fatores.

Na relação com a umidade do solo, por exemplo, pode-se observar uma relação que indica que a umidade do solo está relacionada a atividade do fogo e área queimada, onde nos dois extremos do gráfico a quantidade de área queimada é baixa, o que indica que a flamabilidade diminui muito quando a umidade é muito baixa ou muito alta. A relação entre a área queimada e a velocidade do vento segue o mesmo, com valores menos elevados nas extremidades, mostrando que é necessário que haja vento para possibilitar o espalhamento do fogo, mas que ele em excesso passa a interferir no processo.

De forma geral, os principais objetivos do projeto foram cumpridos incluindo o desenvolvimento de um banco de dados para auxiliar no desenvolvimento de modelos computacionais da dinâmica do fogo para serem usados em conjunto com outros modelos de ecossistemas terrestres previstos no Modelo Brasileiro do Sistema Climático Global para terem funcionamento global e ênfase nos ecossistemas brasileiros, e uma implementação simples do método descrito em Arora e Boer (2005).

4- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARORA, V. K. and BOER, G. J. (2005) Fire as an interactive component of dynamic vegetation models, **Journal of Geophysical Research**, vol. 110, G02008, doi:10.1029/2005JG000042, 2005.
- BALK, D. e YETMAN, G. (2004) **The Global Distribution of Population: Evaluating the gains in resolution refinement**. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). Columbia University, Palisades NY. Disponível em http://www.ciesin.columbia.edu/repository/gpw/docs/gpw3_documentation_final.pdf
- CARDOSO, M.; HURTT, G.; MOORE, B.; NOBRE, C. and PRINS, E. (2003) Projecting future fire activity in Amazonia. **Global Change Biology** 9: 656-669.
- CARDOSO, M.; NOBRE, C.; LAPOLA, D.; OYAMA, M. e SAMPAIO, G. (2008) Long-term potential for fires in estimates of the occurrence of savannas in the tropics. **Global Ecology Biogeogr** 17: 222-235
- CARDOSO, M.; NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; HIROTA, M.; VALERIANO, D. and CÂMARA, G. (2009) Long-term potential for tropical-forest degradation due to deforestation and fires in the Brazilian Amazon, **Biologia** 64 , pp. 433-437 doi:10.2478/s11756-009-0076-9
- OYAMA, M. e NOBRE, C.; (2004) A simple potential vegetation model for coupling with the Simple Biosphere Model (SiB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, 19, 203–216.
- STAVRAKOU, T.; MULLER, J.; DE SMEDT, I.; VAN ROOZENDAEL, M.; VAN DER WERF, G. R.; GIGLIO, L. and GUENTHER, A. (2008) “Evaluating the performance of pyrogenic and biogenic emission inventories against one decade of space-based formaldehyde columns” **Atmos. Chem. Phys.**, 9, 1037–1060.
- VAN DER WERF, G. R.; RANDERSON, J. T.; GIGLIO L.; COLLATZ, G. J.; MU, M.; KASIBHATLA, P. S.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; JIN, Y. e VAN LEEUWEN, T. T. (2010) Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997 - 2009) **Atmos. Chem. Phys. Discuss.**, 10, 16153–16230.